



ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В РЕГИОНАХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Ким Артём

Ташкентский государственный
транспортный университет

ORCID: 0009-0000-8276-9558

kimartem852@gmail.com

Аннотация. В статье выполнен эконометрический анализ факторов выбросов загрязняющих веществ в регионах Республики Узбекистан на основе панельных данных за 2010–2024 годы. Для оценки влияния социально-экономических факторов использованы линейная и логарифмическая регрессионные модели. Установлено, что увеличение объемов промышленного производства сопровождается ростом выбросов загрязняющих веществ, тогда как рост инвестиций в основной капитал и плотности населения связан со снижением их объема. Сравнение результатов показало, что логарифмическая модель точнее описывает исследуемые зависимости, чем линейная спецификация.

Ключевые слова: экологическая нагрузка, выбросы загрязняющих веществ, панельные данные, промышленное производство, инвестиции в основной капитал, регионы Республики Узбекистан.

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ҲУДУДЛАРИДА ИФЛОСЛАНТИРУВЧИ МОДДАЛАР ТАШЛАМАЛАРИ ОМИЛЛАРИНИНГ ЭКОНОМЕТРИК ТАҲЛИЛИ

Ким Артём

Тошкент давлат транспорт университети

Аннотация. Мақолада 2010–2024 йиллар бўйича панель маълумотлар асосида Ўзбекистон Республикаси ҳудудларида ифлослантирувчи моддалар ташламаларига таъсир этувчи омилларнинг эконометрик таҳлили амалга оширилган. Ижтимоий-иқтисодий омилларнинг таъсирини баҳолаш учун чизиқли ва логарифмик регрессия моделларидан фойдаланилган. Тадқиқот натижалари саноат ишлаб чиқариши ҳажмининг ошиши ифлослантирувчи моддалар ташламаларининг кўпайиши билан кузатилишини, асосий капиталга инвестициялар ва аҳоли зичлигининг ортиши эса улар ҳажмининг камайиши билан боғлиқлигини кўрсатди. Натижаларни таққослаш логарифмик регрессия модели чизиқли спецификацияга нисбатан тадқиқ этилаётган боғлиқликларни аниқроқ ифодалашини кўрсатди.

Калит сўзлар: экологик юклама, ифлослантирувчи моддалар ташламалари, панель маълумотлар, саноат ишлаб чиқариши, асосий капиталга инвестициялар, Ўзбекистон Республикаси ҳудудлари.

ECONOMETRIC ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING POLLUTANT EMISSIONS IN THE REGIONS OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Kim Artyom

Tashkent State Transport University

Abstract. *This article presents an econometric analysis of the factors affecting pollutant emissions in the regions of the Republic of Uzbekistan based on panel data for 2010–2024. Linear and logarithmic regression models were employed to assess the impact of socio-economic factors. The results indicate that an increase in industrial production is associated with an increase in pollutant emissions, whereas growth in fixed capital investment and population density is associated with a reduction in emission levels. A comparison of the results showed that the logarithmic model captures the studied relationships more accurately than the linear specification.*

Keywords: *environmental load, pollutant emissions, panel data, industrial production, fixed capital investment, regions of the Republic of Uzbekistan.*

Введение.

В регионах Республики Узбекистан сохраняется существенная межрегиональная дифференциация объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Экологическая ситуация в регионах формируется под воздействием комплекса природных и социально-экономических факторов. С позиций государственного управления пространственные различия в уровне загрязнения атмосферного воздуха целесообразно рассматривать во взаимосвязи с уровнем промышленного развития регионов, инвестиционной активностью и плотностью населения. В отличие от природно-климатических и географических факторов, данные социально-экономические параметры могут быть целенаправленно изменены государством посредством инструментов инвестиционной, промышленной и региональной политики.

В условиях перехода к зеленой экономике и реализации Стратегии «Узбекистан–2030» особую актуальность приобретает количественная оценка влияния регулируемых социально-экономических факторов на уровень загрязнения атмосферного воздуха (President of the Republic of Uzbekistan, 2019). С одной стороны, усиление экологического регулирования может оказывать ограничивающее воздействие на развитие промышленного сектора в индустриальных центрах, с другой — недостаточность экологического контроля в густонаселенных районах способствует ухудшению состояния окружающей среды и увеличению экологических рисков. В связи с этим количественная оценка воздействия регулируемых социально-экономических факторов на состояние атмосферного воздуха приобретает существенное теоретическое и прикладное значение.

Научная проблема исследования связана с неоднозначным характером влияния инвестиционной активности и промышленного развития на уровень загрязнения атмосферного воздуха. В частности, приток инвестиций в основной капитал может способствовать технологическому обновлению и внедрению ресурсосберегающих решений, однако в условиях высокой инерционности индустриального сектора он может также сопровождаться экстенсивным расширением традиционных производств и ростом выбросов загрязняющих веществ. Ситуация осложняется тем, что высокая плотность населения создает дополнительную нагрузку на атмосферный воздух за счет транспортной и коммунальной инфраструктуры, вследствие чего становится сложнее выделить вклад промышленного сектора. В практике регионального управления по-прежнему существует потребность в аналитических инструментах, позволяющих

количественно оценивать влияние отдельных социально-экономических факторов на экологическую нагрузку территорий и выделять их вклад.

Цель исследования заключается в количественной оценке влияния инвестиций в основной капитал, объемов промышленного производства и плотности населения на показатели загрязнения атмосферного воздуха в региональном разрезе Республики Узбекистан.

Научная новизна исследования заключается в разработке многофакторной эконометрической модели оценки региональной экологической нагрузки на основе панельных данных по регионам Республики Узбекистан. В отличие от существующих подходов плотность населения рассматривается в модели не как контрольная переменная, а как самостоятельный фактор, характеризующий пространственную природу антропогенного воздействия. Предложенная спецификация позволяет количественно оценить влияние инвестиций в основной капитал и объемов промышленного производства на уровень выбросов загрязняющих веществ с учетом демографической нагрузки регионов.

Обзор литературы.

Теоретико-методологической основой исследований взаимосвязи экономического развития и состояния окружающей среды выступает гипотеза экологической кривой Кузнеця (ЭКК). Эмпирические предпосылки данной концепции были заложены в работе Гроссмана и Кругера (Grossman & Krueger, 1991), в которой была выявлена нелинейная зависимость между уровнем экономического развития и загрязнением атмосферного воздуха. В дальнейшем гипотеза ЭКК получила широкое распространение в экологических и экономических исследованиях и вместе с тем была подвергнута критическому переосмыслению в работах Стерна (Stern, 2004). В рамках данной концепции связь между уровнем экономического развития и загрязнением окружающей среды рассматривается как нелинейный процесс, меняющийся по мере роста доходов. На ранних этапах индустриализации, как правило, преобладает эффект масштаба, при котором расширение производства сопровождается ростом антропогенной нагрузки на окружающую среду. Несмотря на широкое распространение гипотезы ЭКК, современные исследования все чаще показывают, что на формирование экологических результатов заметное влияние оказывают институциональные и финансовые факторы. В дальнейшем эмпирические результаты, полученные на панельных данных по 24 странам с переходной экономикой (Tamazian & Rao, 2010), подтвердили применимость гипотезы экологической кривой Кузнеця и одновременно показали важность финансового развития и качества институтов для обеспечения экологической устойчивости. Авторы установили, что экономическая и финансовая либерализация может оказывать неблагоприятное воздействие на состояние окружающей среды при недостаточном уровне институционального развития. В этой связи повышение эффективности экологической политики должно основываться на укреплении институциональной среды и совершенствовании механизмов государственного регулирования.

Оценка влияния инвестиционной активности на уровень загрязнения атмосферного воздуха в академической литературе также отличается неоднозначностью и представлена двумя альтернативными подходами. Сторонники гипотезы «гавани для грязных производств» (Pollution Haven Hypothesis) (Copeland, Taylor, 2003) полагают, что в условиях ужесточения экологических стандартов в развитых странах перелив капитала в развивающиеся экономики может концентрироваться в экологически емких отраслях. Напротив, в рамках гипотезы «экологического ореола» (Pollution Halo Hypothesis) инвестиции в основной капитал

интерпретируются как потенциальный канал распространения более чистых технологий и ресурсосберегающих решений (Albornoz et al., 2009).

Пространственный аспект формирования антропогенного давления в исследованиях пространственной экономики рассматривается через призму плотности населения. Если в ранних моделях демографические показатели рассматривались преимущественно как контрольные переменные, то в современных трудах (Carozzi & Roth, 2023; Bobylev, 2021) плотность населения выступает как самостоятельный детерминант нагрузки на воздушный бассейн. Высокая концентрация населения на ограниченной территории может приводить к увеличению автомобильного трафика, усилению нагрузки на коммунальную инфраструктуру и сосредоточению предприятий сферы услуг.

Несмотря на большой объем исследований по соответствующим направлениям, в литературе мало работ, в которых одновременно количественно оценивается влияние уровня промышленного развития, инвестиционной активности и плотности населения на экологические показатели в разрезе регионов. Особенно недостаточно разработаны подходы, основанные на панельном эконометрическом моделировании, учитывающем пространственную неоднородность регионов Республики Узбекистан.

Методология исследования.

В основе исследования лежат методы панельной эконометрики, которые позволяют анализировать взаимосвязи между показателями одновременно в региональном и временном разрезе. Информационной базой исследования послужили официальные ежегодные статистические данные Национального комитета Республики Узбекистан по статистике за 2010–2024 годы. На основе собранных данных была сформирована полностью сбалансированная панель, охватывающая 14 административно-территориальных единиц первого порядка, включая 12 областей, Республику Каракалпакстан и город Ташкент. Итоговый объем выборки составил 210 панельных наблюдений ($N = 14$ регионов, $T = 15$ лет), что формирует достаточную информационную базу для проведения эконометрического анализа. Все расчёты, оценивание параметров моделей, проверка спецификаций и диагностические тесты выполнены в программной среде Minitab. Исходные переменные, их условные обозначения и единицы измерения, включенные в систему эконометрического моделирования, систематизированы автором (таблица 1).

Таблица 1

Описание переменных модели

Обозначение	Показатель	Единицы измерения
Y	Выброшено в атмосферу загрязняющих веществ	тыс. тонн
X_1	Объем инвестиций в основной капитал	млрд. сум
X_2	Объем производства промышленной продукции	млрд. сум
X_3	Плотность населения	число жителей на 1 кв. км (человек)

Источник: составлено автором на основе данных Национального комитета Республики Узбекистан.

Перед проведением регрессионного анализа целесообразно рассмотреть основные статистические характеристики исследуемых переменных. Это позволяет оценить масштабы вариации показателей и особенности их распределения (таблица 2).

Таблица 2

Описательная статистика исследуемых переменных

Переменная	N	Среднее (Mean)	Стандартное отклонение (StDev)	Минимум (Min)	Максимум (Max)
Y	210	63,63	98,63	2,90	619,20
X ₁	210	10411	13866	406	91643
X ₂	210	19009	27719	523	171706
X ₃	210	707	1782	8	7700

Анализ описательной статистики показывает существенную неоднородность социально-экономического развития регионов Республики Узбекистан. Наибольший разброс наблюдается по показателям объема промышленного производства и инвестиций в основной капитал, что свидетельствует о значительных различиях в масштабах экономической активности регионов. Существенная вариация также характерна для плотности населения, отражая различия между высокоурбанизированными и преимущественно сельскими территориями. Наличие значительного разброса значений исследуемых переменных подтверждает целесообразность применения эконометрических методов анализа для выявления закономерностей их взаимосвязи.

Выбор указанных факторов обусловлен их существенной ролью в формировании антропогенной нагрузки, а также возможностью воздействия на них с помощью инструментов государственной инвестиционной, промышленной и региональной политики. Для количественной оценки влияния исследуемых факторов используется сквозная линейная модель панельной регрессии (Pooled OLS):

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + \epsilon_{it}, \quad (1)$$

где i — регион ($i = 1, \dots, 14$);

t — год ($t = 2010, 2011, \dots, 2024$);

β_0 — свободный член (константа);

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ — параметры модели, характеризующие влияние соответствующих факторов на зависимую переменную;

ϵ_{it} — случайная ошибка модели.

На первоначальном этапе исследования использовалась сквозная регрессионная модель (Pooled OLS), позволяющая оценить усредненные зависимости между исследуемыми показателями по всей совокупности наблюдений без учета индивидуальных региональных эффектов.

Учитывая возможные нелинейные взаимосвязи между переменными и необходимость сгладить межрегиональные различия в масштабах социально-экономических показателей, помимо линейной сквозной регрессии (1) в работе оценивается трехфакторная логарифмическая модель (ln–ln спецификация):

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln X_{1it} + \beta_2 \ln X_{2it} + \beta_3 \ln X_{3it} + \epsilon_{it}, \quad (2)$$

Логарифмическое преобразование позволяет снизить влияние возможной гетероскедастичности, связанной с неоднородностью масштабов наблюдений, и позволяет интерпретировать коэффициенты β_j как эластичности — то есть как процентное изменение зависимой переменной при изменении соответствующего фактора на 1%.

Статистическая верификация параметров построенной модели выполнена в рамках классического подхода к проверке параметрических гипотез. Общая статистическая значимость регрессионного уравнения оценивается с помощью F-критерия Фишера (F-value), который проверяет глобальную нулевую гипотезу о совместном равенстве нулю всех коэффициентов при объясняющих переменных ($H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$). Статистическая значимость модели оценивается с помощью F-критерия Фишера и соответствующего p-значения. Данный тест позволяет проверить гипотезу о совместной значимости объясняющих переменных и определить, является ли модель статистически значимой в целом.

Индивидуальная статистическая значимость каждого из оцениваемых параметров регрессии (β_j) проверяется с помощью t-критерия Стьюдента (t-value). Данный критерий показывает соотношение между оцененным коэффициентом и его стандартной ошибкой, что позволяет проверять частные нулевые гипотезы вида $H_0: \beta_j = 0$, отражающие отсутствие самостоятельного влияния отдельного фактора на объема эмиссии.

Ключевым показателем при проверке как общей значимости модели с помощью F-теста, так и индивидуальной значимости коэффициентов с помощью t-теста является p-value, которое отражает вероятность получения столь же экстремального значения статистики при истинности нулевой гипотезы и может интерпретироваться как риск ошибки первого рода при ее отклонении. В качестве критериев принятия решений в работе используются стандартные уровни значимости $\alpha = 0.01$ и $\alpha = 0.05$.

Качество аппроксимации и прогностические возможности модели оцениваются по совокупности показателей: стандартной ошибке регрессии (S), коэффициенту детерминации (R^2), скорректированному коэффициенту детерминации (R_{adj}^2), а также прогностическому коэффициенту детерминации (R_{pred}^2), рассчитанному на основе статистики PRESS.

Для выявления мультиколлинеарности объясняющих переменных рассчитывается коэффициент инфляции дисперсии (Variance Inflation Factor, VIF) и при этом его значение не должно превышать 5. Идентификация потенциально влиятельных наблюдений, включая выбросы, осуществляется на основе совместного анализа стандартизированных остатков и рычагов переменных (Leverage) при пороговом значении $\frac{2k}{n}$, где k — число параметров модели, а n — объем выборки.

Анализ и результаты.

На первом этапе исследования для выявления общих закономерностей взаимосвязи между социально-экономическими факторами и объемом выбросов загрязняющих веществ была оценена сквозная регрессионная модель (Pooled OLS). Данный подход позволяет определить усредненные зависимости по всей совокупности наблюдений без учета индивидуальных региональных эффектов и может рассматриваться как базовый инструмент первичного анализа панельных данных. На основе обработанного массива панельных данных ($n = 210$ наблюдений) в программной среде Minitab было получено следующее эмпирическое уравнение регрессии:

$$Y = 51,01 - 0,000994X_1 + 0,001647X_2 - 0,01180X_3 \quad (3)$$

Глобальная проверка модели с помощью дисперсионного анализа (ANOVA) показывает её общую статистическую значимость: $F = 9,78$ при $p < 0,001$. В то же время анализ отдельных коэффициентов свидетельствует о различной степени статистической значимости объясняющих переменных (таблица 3).

Таблица 3

Результаты оценивания линейной регрессионной модели

Переменная	Коэффициент	Стандартная ошибка	t-статистика	p-значение	VIF
Константа	51,01	8,08	6,31	0,000	-
X_1	-0,000994	0,000915	-1,09	0,278	3,89
X_2	0,001647	0,000448	3,67	0,000	3,74
X_3	-0,01180	0,00391	-3,01	0,003	1,18

Источник: рассчитано и составлено автором на основе данных Национального комитета Республики Узбекистан по статистике.

Согласно результатам оценки коэффициентов, статистически значимое влияние на объем выбросов загрязняющих веществ оказывают объем промышленного производства X_2 и плотность населения X_3 . Положительный знак коэффициента при переменной X_2 указывает на то, что с ростом объемов промышленного производства возрастает и экологическая нагрузка. Коэффициент при переменной X_3 является отрицательным и статистически значимым, что свидетельствует о наличии обратной статистической связи между плотностью населения и объемом выбросов загрязняющих веществ. Вместе с тем статистически значимое влияние инвестиций в основной капитал X_1 не подтверждается ($p = 0,278$).

Для оценки качества аппроксимации и прогностических свойств модели были проанализированы сводные статистические показатели (таблица 4).

Таблица 4

Сводная таблица оценок качества линейной регрессионной модели

Статистический критерий качества	Условное обозначение	Значение критерия
Стандартная ошибка регрессии	S	92,9439
Коэффициент детерминации	R^2	12,47%
Скорректированный коэффициент детерминации	R_{adj}^2	11,19%
Сумма квадратов остатков прогноза	$PRESS$	1 907 987
Прогнозный коэффициент детерминации	R_{pred}^2	6,15%

Источник: рассчитано и составлено автором на основе данных Национального комитета Республики Узбекистан по статистике.

Анализ представленных критериев (таблица 4) позволяет сделать несколько принципиальных выводов относительно адекватности линейной спецификации.

В первую очередь необходимо отметить низкий уровень объясненной вариации: коэффициент детерминации составляет 12,47%, а его скорректированное значение — 11,19%. Это свидетельствует о том, что линейная комбинация факторов X_1 , X_2 и X_3 объясняет лишь небольшую часть вариации зависимой переменной, тогда как значительная ее доля остается необъясненной в рамках рассматриваемой спецификации. Полученные результаты характеризуют модель как обладающую ограниченной объясняющей способностью и позволяют предположить наличие нелинейных взаимосвязей между исследуемыми показателями, не учитываемых линейной формой регрессионного уравнения.

Кроме того, достаточно высокое значение стандартной ошибки регрессии ($S = 92,9439$) указывает на значительный разброс фактических наблюдений относительно расчетных значений модели, что свидетельствует о невысокой точности её аппроксимации.

Дополнительным подтверждением ограниченной применимости линейной спецификации служит низкое значение прогнозного коэффициента детерминации ($R_{pred}^2 = 6,15\%$). Данный результат указывает на низкую способность модели к описанию значений зависимой переменной вне обучающей выборки. Результаты оценки коэффициентов, показатели качества аппроксимации и прогностические характеристики показывают, что линейная форма регрессионного уравнения не полностью отражает взаимосвязи между исследуемыми показателями. Это обуславливает переход к альтернативной функциональной спецификации, способной учитывать возможные нелинейные зависимости и межрегиональные различия в масштабах социально-экономического развития.

На следующем этапе исследования, в соответствии с принятой методологией, была оценена трехфакторная логарифмическая модель регрессии. Она позволяет учитывать возможную нелинейность взаимосвязей между показателями и снижать влияние межрегиональных различий в уровне социально-экономического развития.

По результатам оценивания параметров логарифмической модели было получено следующее эмпирическое уравнение регрессии:

$$\ln Y = 1,420 - 0,517 \ln X_1 + 0,805 \ln X_2 - 0,1816 \ln X_3 \quad (4)$$

Результаты дисперсионного анализа показывают, что логарифмическая модель в целом статистически значима. Полученное значение F-критерия Фишера (17,31) при $p < 0,001$ позволяет отвергнуть гипотезу о совместной незначимости объясняющих переменных. Следовательно, включенные в модель социально-экономические факторы оказывают статистически значимое влияние на объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу регионов. Подробные результаты оценивания параметров логарифмической модели представлены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты оценивания параметров логарифмической модели регрессии

Переменная	Коэффициент	Стандартная ошибка	t-статистика	p-значение	VIF
Константа	1,420	0,571	2,49	0,014	-
$\ln X_1$	-0,517	0,136	-3,79	0,000	4,82
$\ln X_2$	0,805	0,133	6,04	0,000	4,98
$\ln X_3$	-0,1816	0,0486	-3,74	0,000	1,08

Источник: рассчитано и составлено автором на основе данных Национального комитета Республики Узбекистан по статистике.

Оценка логарифмической модели показала, что каждый из включенных в нее факторов статистически значимо влияет на объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Коэффициент при $\ln X_2$ (объем промышленного производства) положительный и является наибольшим по абсолютной величине среди всех объясняющих переменных. Это свидетельствует о том, что рост объемов промышленного производства ведёт к усилению экологической нагрузки на региональную экономику. Полученный результат отражает тот факт, что индустриальный рост и эмиссия загрязняющих веществ в республике всё еще остаются тесно связанными.

Коэффициент при переменной $\ln X_1$ (объем инвестиций в основной капитал) является отрицательным. Это означает, что рост инвестиционной активности сопровождается снижением объема выбросов загрязняющих веществ. Полученный результат может указывать на то, что направляемые инвестиционные потоки

способствуют модернизации действующих производств, внедрению ресурсосберегающих технологий и общему повышению экологической эффективности реального сектора экономики.

Отрицательный коэффициент при переменной $\ln X_3$ (плотность населения) указывает на наличие обратной зависимости между плотностью населения и объемом выбросов загрязняющих веществ. Полученный результат может отражать межрегиональные различия в структуре экономики. В более густонаселенных регионах, как правило, выше доля сферы услуг и ниже концентрация экологически емких производств, что может способствовать сокращению объема выбросов загрязняющих веществ.

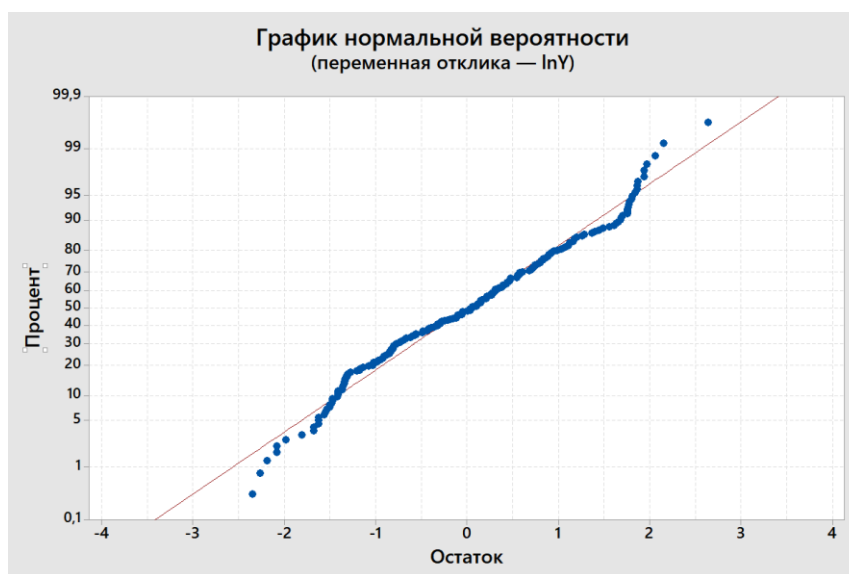


Рисунок 1. График нормальной вероятности остатков логарифмической модели

Источник: рассчитано и составлено автором на основе данных Национального комитета Республики Узбекистан по статистике.

График нормальной вероятности остатков логарифмической модели показывает, что большинство наблюдений располагается вблизи теоретической прямой. Это позволяет сделать вывод о том, что распределение остатков в достаточной мере соответствует нормальному закону. Небольшие отклонения есть только в хвостах распределения, но на результаты оценивания они не влияют.

Для оценки качества аппроксимации и прогностических свойств логарифмической модели были проанализированы сводные статистические показатели (таблица 6).

Таблица 6

Сводные критерии качества логарифмической регрессионной модели

Статистический критерий качества	Условное обозначение	Значение критерия
Стандартная ошибка регрессии	S	1,11134
Коэффициент детерминации	R^2	20,14%
Скорректированный коэффициент детерминации	R_{adj}^2	18,97%
Сумма квадратов остатков прогноза	$PRESS$	263,462
Прогнозный коэффициент детерминации	R_{pred}^2	17,30%

Источник: рассчитано и составлено автором на основе данных Национального комитета Республики Узбекистан по статистике.

Сравнение результатов таблиц 3 и 5 показывает, что логарифмическая спецификация обеспечивает более высокое качество моделирования по сравнению с линейной формой. Коэффициент детерминации увеличился с 12,47% до 20,14%, скорректированный коэффициент детерминации — с 11,19% до 18,97%, а прогнозный коэффициент детерминации возрос с 6,15% до 17,30%. Полученные результаты свидетельствуют об улучшении как объясняющей, так и прогностической способности модели после логарифмического преобразования переменных. Кроме того, в логарифмической модели статистически значимыми оказались все включенные объясняющие переменные, включая инвестиции в основной капитал, влияние которых не было подтверждено в линейной спецификации.

Анализ коэффициентов эластичности показывает, что наибольшее влияние на объем выбросов загрязняющих веществ оказывает промышленное производство. Увеличение объема промышленной продукции на 1% сопровождается ростом выбросов в среднем на 0,805% при прочих равных условиях. В свою очередь, увеличение инвестиций в основной капитал на 1% приводит к снижению объема выбросов на 0,517%, тогда как рост плотности населения на 1% сопровождается уменьшением объема эмиссии на 0,1816%. Полученные оценки подтверждают определяющую роль промышленного производства в формировании экологической нагрузки регионов Республики Узбекистан.

Заклучение и предложения

Полученные результаты показывают, что промышленное производство является основным фактором формирования экологической нагрузки в регионах Республики Узбекистан, тогда как инвестиции в основной капитал и плотность населения связаны с объемом выбросов загрязняющих веществ обратной статистически значимой зависимостью. Об этом свидетельствует рост коэффициента детерминации R^2 с 12,47% до 20,14%, скорректированного коэффициента детерминации R_{adj}^2 — с 11,19% до 18,97%, а также прогнозного коэффициента детерминации R_{pred}^2 — с 6,15% до 17,30%. Логарифмическое преобразование переменных улучшает описание исследуемых данных.

Результаты эконометрического анализа свидетельствуют о том, что основным фактором формирования экологической нагрузки в регионах Республики Узбекистан является объем промышленного производства. Коэффициент эластичности показывает, что рост объёмов промышленного производства ведёт к увеличению выбросов загрязняющих веществ, то есть промышленное развитие и его экологические последствия остаются тесно связаны.

Установлена статистически значимая обратная зависимость между инвестициями в основной капитал и уровнем выбросов загрязняющих веществ. Можно предположить, что рост инвестиционной активности связан с обновлением производственных мощностей, внедрением более эффективных технологий и повышением экологической эффективности хозяйственной деятельности.

Также установлено, что плотность населения и объем выбросов загрязняющих веществ находятся в обратной зависимости. Данный результат указывает на наличие межрегиональных различий в структуре хозяйственной деятельности и может быть обусловлен более высокой долей сферы услуг, уровнем развития инфраструктуры и меньшей концентрацией экологически емких производств в отдельных густонаселенных регионах.

Полученные результаты могут быть положены в основу региональных экологических программ, использованы для оценки экологической эффективности инвестиционных проектов и способствовать совершенствованию механизмов экологического регулирования. Результаты этого исследования можно использовать на

практике, что поможет сделать управленческие решения в области экологической устойчивости регионального развития Республики Узбекистан более эффективными.

Литература / Reference:

Albornoz, F., Cole, M. A., Elliott, R. J., & Ercolani, M. G. (2009). In search of environmental spillovers. *Environmental and Resource Economics*, 44(4), 489–506.

Bobylev, S. N. (2021). *Ekonomika ustoychivogo razvitiya [Economics of sustainable development]*. Yurayt Publishing House.

Carozzi, F., & Roth, S. (2023). Dirty density: Air quality and the density of American cities. *Journal of Environmental Economics and Management*, 118, Article 102767.

Cole, M. A. (2004). Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: Examining the linkages. *Ecological Economics*, 48(1), 71–81.

Copeland, Brian & Taylor, M. Scott. (2003). *Trade and Environment: Theory and Evidence*. Princeton University Press. 10.2307/3552527.

Glaeser, E. L., & Kahn, M. E. (2010). The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. *Journal of Urban Economics*, 67(3), 404–418.

Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). *Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement (NBER Working Paper No. 3914)*. National Bureau of Economic Research. doi.org

Kremer, N. Sh., & Putko, B. A. (2010). *Ekonometrika [Econometrics] (3rd ed.)*. Moscow: YuNITI-DANA.

Pakhomova, N. V., Rikhter, K. K., Malyshkov, G. B., & Khoroshavin, A. V. (2025). *Ekonomika prirodopolzovaniya i ekologicheskiy menedzhment (Environmental economics and environmental management) (2nd ed.)*. Urait Publishing House. <https://urait.ru/bcode/557270>.

President of the Republic of Uzbekistan. (2019). Resolution No. RP-4477 of October 4, 2019 "On approval of the Strategy for the transition of the Republic of Uzbekistan to the 'green' economy for the period 2019-2030". National Database of Legislation of the Republic of Uzbekistan (Lex.uz). <https://lex.uz/en/docs/7582760>.

Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development*, 32(8), 1419–1439.

Tamazian, A., & Rao, B. B. (2010). Do economic, financial and institutional developments matter for environmental degradation? Evidence from transitional economies. *Energy Economics*, 32(1), 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.04.004>.